

5. Diskussion

5.1. Material und Methode

5.1.1. Wahl der Untersuchungsmethode – Penetrationstest

Die Randständigkeit von Wurzelkanalfüllungen kann durch Messung der Penetration von Bakterien [116], radioaktiven Isotopen [58, 134] oder Farbstoffen [134, 215] ermittelt werden. Die Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung mit Hilfe der Penetration radioaktiver Isotope ist weniger genau als die mit Farbstoffen [134]. Erschwerend kommt der aufwendige Versuchsaufbau hinzu [14].

Penetrationstests mit Bakterien haben den Nachteil, dass die Bakterien selbst größer sind als die Moleküle ihrer Endotoxine. Es können jedoch jeder Zeit Endotoxine in Bereiche, in denen keine Bakterienpenetration festzustellen ist, eingedrungen sein. Insbesondere Endotoxine verursachen durch ihre auf das periapikale Gewebe ausgeübten Reize dessen Entzündung. Daher ist es von besonderem Interesse, Penetrationstests mit Hilfe kleinerer Moleküle durchzuführen. Für diese Untersuchungsmethode eignen sich Farbstoffmoleküle besonders gut.

Daher werden zur Überprüfung der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen meist Farbstoffpenetrationstests herangezogen [215]. Der am häufigsten verwendete Farbstoff ist Methyleneblau [181, 215]. Seltener werden Eosin oder Tinte eingesetzt [181]. Im Vergleich zu Tinte kann Methyleneblau aufgrund seines niedrigeren Molekulargewichts besser penetrieren [191]. Ein weiterer Vorteil von Methyleneblau ist seine Unempfindlichkeit gegenüber chemischen Veränderungen, wie sie beispielsweise unter dem Einfluss von Säuren eintreten können. Methyleneblau kam in dieser Untersuchung aus den oben genannten Gründen zum Einsatz.

Einer der Nachteile von Farbstoffpenetrationstests sind in den Kanälen eingeschlossene Luftbläschen, die eine Barriere für die Farbstoffe bilden können und deren Eindringen in vorhandene Spalten verhindern. Solche Luft einschüsse wurden besonders häufig nach Durchführung der sogenannten passiven Penetration beobachtet, bei der die Zähne ohne weitere Maßnahmen in der Farbstofflösung gelagert wurden [73, 183]. Daher empfehlen einige Autoren die aktive Penetration. Diese kann entweder mittels Zentrifugation oder unter Vakuumapplikation erfolgen [73, 181]. Sowohl die Vakuumapplikationen [53, 54, 133], als auch das Zentrifugieren [103] scheinen im Vergleich zur passiven Penetration jedoch keine

erhöhte Farbpenetration zur Folge zu haben. Da die Bedingungen im Bereich des Wurzelkanals am ehesten mit der Methode der passiven Penetration zu vergleichen sind und die aktive Penetration keine Vorteile zu bieten scheint, wurde in dieser Untersuchung letztere zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelfüllungen herangezogen.

Um dennoch eventuell vorhandene Lufteinschlüsse zu eliminieren, wurden die Zähne vor der Exposition mit dem Farbstoff einer 30-tägigen Lagerung in Wasser unterzogen. Anschließend wurden sie für 48 Stunden in Methylenblaulösung gelagert. Mit 37 °C wurde eine den In-vivo-Bedingungen entsprechende Temperatur gewählt. Eine Lagerungsdauer von 48 Stunden garantiert eine vollständige Farbpenetration und entspricht derjenigen vergleichbarer Studien [69].

5.1.2. Quantifizierung des penetrierten Farbstoffes

Die Quantifizierung des penetrierten Farbstoffes mit Hilfe von Farbstoffpenetrationstests wird durch die verfahrenstechnisch nicht durchführbare Untersuchung der gesamten Wurzelkanaloberfläche erschwert [215]. Es existieren verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Farbpenetrationstiefe, die jeweils mit unterschiedlichen Nachteilen verbunden sind.

1980 beschrieben *Robertson* und *Leeb* (1980) eine Methode zur Beurteilung der Penetrationstiefe von Farbstoffen, die darin besteht, die Zähne durch Dekalzifizierung nach vorangegangener Farbstoffexposition transparent zu machen [163]. Auf der durchsichtigen Wurzelaußenfläche wird ein Maßstab angelegt und so die Farbpenetration gemessen. Da der Maßstab nicht direkt am gefärbten Anteil der Wurzelfüllung, sondern nur an der Wurzelaußenfläche angelegt werden kann, ist die Messgenauigkeit eingeschränkt. Ein weiterer Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die Farbpenetration zwischen Sealer und Guttapercha nicht beurteilt werden kann.

Buchalla et al. (1999) gaben ein computergestütztes Verfahren zur quantitativen Bestimmung der apikalen Undichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen, aufbauend auf der von *Robertson* und *Leeb* (1980) beschriebenen Methode zur Sichtbarmachung der Farbpenetration, an. Dabei kann die Penetration sowohl in ihrer Länge als auch als Fläche gemessen werden [36].

Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung der Farbpenetrationstiefe ist die zuerst von *Douglas* und *Zakariasen* (1981) [57] und später von *Porkaew et al.* (1990) [161] beschriebene spektralphotometrische Methode. Nach abgeschlossener Farbstofflagerung werden die Zähne

in eine Säurelösung gelegt. Dadurch löst sich der in den Wurzelkanal penetrierte Farbstoff heraus. Mit Hilfe eines Spektralphotometers, dessen Lichtstrahl eine Wellenlänge im Absorbitionsbereich des Farbstoffes hat, wird ein Absorptionsspektrogramm angefertigt [161]. Das Volumen des penetrierten Farbstoffes kann auf diese Weise genau ermittelt werden [57]. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass es nicht möglich ist, die Penetrationstiefe des Farbstoffes sowie das Farbmuster zu bestimmen.

Auch über eine Längsspaltung der Zahnwurzel und das Anlegen eines Maßstabes am gefärbten Teil der Wurzelfüllung unter dem Mikroskop kann die Farbpenetrationstiefe ausgewertet werden. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die Farbpenetrationstiefe nicht entlang der ganzen Wurzeloberfläche [215], sondern nur an der Bruchfläche beurteilt werden kann [126].

Die verbreitetste Methode, den in den Wurzelkanal penetrierten Farbstoff zu quantifizieren, ist die Anfertigung serieller Quer- oder Längsschnitte. Dabei wird meist die absolute Farbpenetrationstiefe ermittelt. Zusätzlich kann versucht werden, die Menge des eingedrungenen Farbstoffes zu bestimmen. Die gefärbten Kreisbogensegmente können entweder als Winkel gemessen oder deren Fläche errechnet werden [11]. Bei Längsschnitten des Zahnes ist es wegen des Sägeblattverlustes schwer, mehrere Schnitte durchzuführen, ohne die Wurzelfüllung zu zerstören. Dadurch kann die Farbpenetration nur selektiv sichtbar gemacht werden [215]. Auch bei Querschnitten gibt es einen Materialverlust durch das Sägeblatt, der jedoch berechnet werden kann. Endet die maximale Penetrationstiefe im Bereich des Sägeblattverlustes, so kann sie nicht exakt ermittelt werden.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgte eine Quantifizierung des penetrierten Farbstoffes durch die Anfertigung serieller Querschnitte an jeder Zahnwurzel von apikal nach koronal und deren Auswertung mit Hilfe eines Stereolichtmikroskops mit Auflichtaufsatz. Sowohl die Dicke der Sägeschnitte als auch der Materialverlust durch die Säge wurden ermittelt. So konnte für jede Wurzelfüllung die Farbpenetrationstiefe errechnet werden. Mit dieser Methode wurde ein Auswertungsverfahren gewählt, das eine Aussage zur Dichtigkeit der untersuchten Wurzelfüllungen durch die Messung der Penetrationstiefe und einen Vergleich mit den Werten anderer Studien erlaubt.

5.1.3. Auswahl der Zähne

Ziel dieser Untersuchung war es, einen Vergleich zwischen der Dichtigkeit orthograder Wurzelfüllungen, Wurzelspitzenresektionen und Wurzelspitzenresektionen mit zusätzlicher retrograder Füllung bei oberen, einwurzeligen, zweikanaligen Prämolaren vorzunehmen. Da die Wurzelkanäle bei diesen Zähnen einen hohen Grad an Variationen aufweisen, beschränkte sich die vorliegende Arbeit auf die Untersuchung der Kanalkonfigurationen der Typen II und IV, die am häufigsten vertreten sind [197, 198].

Dafür wurden 102 dieser Prämolaren aus einem Pool unselektierter, extrahierter Zähne ausgewählt, die in verschiedenen Berliner Zahnarztpraxen extrahiert und gesammelt wurden.

Auf die Auswahl von Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wurde verzichtet, da bei diesen während der Wurzelkanalaufbereitung kein apikaler Stop erzielt werden kann. Zähne mit obliterierten Wurzelkanälen wurden aus der Studie ebenfalls ausgeschlossen, da bei diesen eine Aufbereitung bis zur physiologischen Enge häufig nicht möglich ist.

Durch die willkürliche Numerierung der Zähne und ihre randomisierte Einteilung in sechs Gruppen wurden gleiche Ausgangsbedingungen für alle Versuchsgruppen geschaffen.

5.1.4. Wurzelkanalaufbereitung

Im Zuge der Wurzelkanalbehandlung wurde versucht, bei allen Zähnen eine Aufbereitung bis nahe an das physiologische *Foramen apicale* vorzunehmen [216]. Durch die Erhaltung der apikalen physiologischen Enge soll die Kontaktfläche zwischen Wurzelfüllung und apikalem Gewebe so gering wie möglich gehalten werden. Von der *Europäischen Gesellschaft für Endodontologie* wird im 1994 veröffentlichten Konsenspapier empfohlen, den Zahn bis in einen Bereich von 0,5 bis 2 mm vor den Apex aufzubereiten [59].

Des Weiteren wurde mit Hilfe der Step-back-Technik versucht, eine möglichst konische Aufbereitung unter Beibehaltung des Kanalverlaufs zu gewährleisten. Mit Hilfe dieser Technik kann einerseits eine im Vergleich zur konventionellen Aufbereitung bessere Reinigung [5, 45, 203, 206] erzielt werden, andererseits führt sie bei Durchführung der lateralen Kondensation zu einer höheren Dichtigkeit der Wurzelfüllung [159]. Daher sollte ihr der Vorzug vor der konventionellen Aufbereitungstechnik gegeben werden [142]. Die Tatsache, dass die Step-back-Präparation signifikant die Sicherheit der manuellen Aufbereitung in gekrümmten Kanälen erhöht [159, 206] und diese zum Teil in der vorliegende Studie vorkamen, war ein weiterer Grund zur Wahl dieser Methode.

Im Verlauf der Bestimmung der Arbeitslängen wurde festgestellt, dass bei einigen Zähnen die Arbeitsinstrumente zuerst bei einer ISO-Größe von 35 griffen. Um der Forderung nach einer Aufbereitung um ca. drei bis vier ISO-Größen [80, 118, 208] nachzukommen, wurden alle Zähne daher in ihrer Arbeitslänge bis ISO-Größe 55 aufbereitet.

Bei der nachfolgenden Step-back-Präparation wird die Arbeitslänge im Anschluss an die apikale Aufbereitung sukzessive in drei bis fünf Schritten um den gleichen Abstand verkürzt [88, 193]. In der vorliegenden Untersuchung wurde daher bei allen Zähnen eine Step-back-Präparation in drei Schritten bis ISO-Größe 80 vorgenommen. Zur Spülung der Wurzelkanäle wurde Natriumhypochlorit (NaOCl) in einer 2%igen Konzentration verwendet, da diese Konzentration von vielen Autoren empfohlen [18, 39, 141, 179] und als nicht toxisch angesehen wird [9, 144, 145]. Der Forderung nach einer ausreichenden Menge an Spüllösung [59] wurde ebenfalls nachgekommen, indem die Wurzelkanäle nach jedem Instrumentenwechsel mit jeweils 1 ml Spülflüssigkeit gereinigt wurden.

5.1.5. Wurzelkanalfüllung

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Wurzelkanäle aller Zähne mit Hilfe der lateralen Kondensation abgefüllt, bevor ein Teil von ihnen einer weiteren Behandlung zugeführt wurde. Die laterale Kondensation wurde aufgrund der hohen Dichtigkeit, vor allem im Vergleich zur Zentralstifttechnik [19, 20, 22] und zu anderen Fülltechniken [82, 122, 130, 132] ausgewählt.

Bei der in dieser Studie verwendeten Wurzelfüllpaste AH Plus handelt es sich um einen Sealer auf Epoxidharz-Basis. Diese Pasten weisen eine gute Volumenbeständigkeit sowie ein sehr gutes Abdichtungsvermögen auf und entfalten kaum eine irritierende Wirkung auf das periapikale Gewebe [52, 70]. Bei Überfüllung von Wurzelkanälen kann es zu einer partiellen Resorption oder einer bindegewebigen Abkapselung dieses Sealers kommen [52]. Die Wurzelfüllpaste AH 26, der Vorgänger des AH Plus weist auf Grund einer zeitlich begrenzten Freigabe von kleinen Mengen an Formaldehyd eine geringgradige Toxizität auf [34, 112, 125, 135, 148, 182, 190]. Im abgebundenen Zustand sind Epoxidharze jedoch als biologisch weitgehend inert anzusehen [32, 46, 72, 182, 194]. AH Plus hat die gleichen günstigen physikalischen und werkstoffkundlichen Eigenschaften wie AH 26, es kommt jedoch zu keinem Zeitpunkt zu einer Freisetzung von Formaldehyd [117]. Im Vergleich zu Wurzelfüllmaterialien auf Polyketon-Basis (Diaket) bzw. auf Salicylat-Basis mit Kalziumhydroxid (Apexit), konnten bei Zähnen, die mit Hilfe der lateralen Kondensation

gefüllt wurden, im Hinblick auf die Tiefe der Farbstoffpenetration keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei Zähnen, die mittels Zentralstifttechnik versorgt wurden, zeigte sich, dass die Farbstoffpenetration bei den mit AH Plus gefüllten Zähnen geringer war [3]. In der Literatur werden dunkelgraue Einfärbungen von AH 26 durch Methylenblau erwähnt [215]. Diese konnten bei der Auswertung der Querschnitte dieser Studie am verwendeten Sealer AH Plus nicht beobachtet werden.

Auf die Anwendung kalziumhydroxidhaltiger Sealer wurde verzichtet, da von einem Herauslösen der Kalziumionen durch den sauren pH-Wert von Methylenblau berichtet wird [215].

Im Anschluss an die Wurzelkanalbehandlung wurden die koronalen Kavitäten vor der weiteren Versorgung mit dem Kompomer Dyract AP® verschlossen. In keinem Fall konnte ein Eindringen des Farbstoffes im koronalen Bereich beobachtet werden.

5.1.6. Wurzelspitzenresektion

Die Angaben darüber, wie groß der zu resezierende Anteil der Wurzelspitze sei, sind unterschiedlich. *Diedrich* (1995) und *von Arx* (1998) sprachen von 3 mm, wohingegen *Sailer* (1996) 2 mm angibt [55, 170, 199]. In der vorliegenden Untersuchung wurden 3 mm der Wurzelspitze entfernt, um sicher zu gehen, dass auch in denjenigen Fällen, in denen der Kanal die Wurzel lateral des Apex verlässt, die Wurzelfüllung erreicht wurde.

Nach *Guldener* (1994) ist eine Resektion erst dann als gelungen anzusehen, wenn der Wurzelkanal mit einer Sonde unter Sicht eindeutig lokalisiert werden kann [79]. Um einen Vergleich innerhalb der Gruppen vornehmen zu können, wurde die Resektion senkrecht zur Zahnachse vorgenommen. Dieses Verfahren, das in der Literatur empfohlen wird, ist jedoch aus technischen Gründen *intra operationem* nicht immer durchführbar [170]. Die Verwendung von Hartmetallinstrumenten zur Abtrennung der Wurzelspitze folgte ebenfalls der Literatur [55, 170].

5.1.7. Retrograde Wurzelfüllung

Die Präparation der Kavitäten zur Aufnahme der retrograden Füllungen wurde mit Hilfe von Ultraschallinstrumenten (SONICflex®) durchgeführt. Damit wurde analog zur klinischen Anwendung in der chirurgischen Abteilung der Zahnklinik der FU Berlin vorgegangen. Durch den Einsatz von Ultraschallinstrumenten können die Nachteile einer Präparation mit

Mikrowinkelstücken weitestgehend vermieden werden [79]. Der Forderung nach einer Kavitätentiefe von 3 mm [121] wurde in der vorliegenden Untersuchung nachgekommen.

Mit dem Glasionomerzement Ketac-Fil® wurde ein erprobtes Material verwendet, das leicht zu verarbeiten ist und dessen Eigenschaften nach Durchsicht der Literatur als gut zu betrachten sind. Dennoch muss nach einem idealen Material weiterhin geforscht werden [8, 105, 152].

5.2. Versuchsergebnisse

5.2.1. Messung der Penetrationstiefen

Bei der Auswertung der seriellen Querschnitte wurde für jeden Zahn der Bereich der tiefsten Farbpenetration gemessen. Für die Zähne des Typs IV wurde diese Messung an den bukkalen und palatinalen Kanäle getrennt vorgenommen. Ebenso wurde notiert, ob die tiefste Farbpenetration einem der beiden Kanäle zugeordnet werden konnte, oder ob sie sich im Bereich der retrograden Füllung bzw. interkanalikulär befand. Dabei stellte sich heraus, dass es in allen drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Penetrationstiefen zwischen den bukkalen und den palatinalen Kanälen gab. In der Gruppe IIB wurde eine besonders hohe Übereinstimmung der Penetrationstiefen gefunden. In der Gruppe IIIB konnte die maximale Farbpenetration in sechs Fällen nicht beiden Kanälen zugeordnet werden. In vier dieser Fälle endete die Verfärbung im Bereich der retrograden Wurzelfüllung, in den beiden anderen Fällen erreichte die Verfärbung nur eine der beiden Wurzelfüllung.

Diese Unregelmäßigkeiten, die beim Betrachten der Ergebnisse auffallen, sowie die Tatsache, dass die Farbpenetrationen der beiden Kanäle hohe Übereinstimmungen aufwiesen, führten dazu, dass bei der weiteren Auswertung der Versuchsergebnisse für jeden Zahn nur die maximale Farbpenetration herangezogen wurde.

Entwicklungsgeschichtlich kann das Wurzelkanalsystem der oberen, einwurzeligen Prämolaren als eine Einheit betrachtet werden. Aus einem zunächst großvolumigen Kavum differenzieren sich durch Dentineinlagerungen die einzelnen Wurzelkanäle. Dabei verbleiben häufig zahlreiche Anastomosen, welche die beiden Wurzelkanäle miteinander verbinden [89]. *Vertucci* (1974, 1979) konnte bei 34% der oberen PM1 bzw. 31% der oberen PM2 transversale Anastomosen nachweisen [197, 198]. Es ist daher fraglich, ob die beiden Wurzelkanäle als eigenständige Einheiten aufgefasst und bewertet werden sollten.

Hinzu kommt, dass eine chirurgisch-endodontische Therapie im Sinne einer Wurzelspitzenresektion bzw. einer Wurzelspitzenresektion mit zusätzlicher retrograder Füllung nur an der gesamten Zahnwurzel und nicht nur einzelnen Anteilen derselben durchgeführt werden kann. Selbst wenn einer der beiden Kanäle eine signifikant schlechtere Wurzelfüllung aufweisen würde, könnte dies keine Konsequenzen auf die Durchführung einer solchen Therapie haben.

5.2.2. Kontrollgruppe

Mit 3,0 mm lag die in der Gruppe I ermittelte mittlere Penetrationstiefe in einem ähnlichen Bereich wie sie von *Gasparini* (1994) angegeben wurde. Diese fand an Zähnen, die mit lateraler Kondensation gefüllt wurden, eine durchschnittliche Farbpenetration von 3,3 mm vor [69]. *De Grood et al.* (1990) kamen bei gleicher Füllungsmethode auf eine mittlere Penetrationstiefe von 4,1 mm [49]. Die mittleren Penetrationstiefen der Kontrollgruppe lagen somit im Bereich von Werten, die in anderen Untersuchungen gefunden wurden. *Fabra-Campos* (1993) und *Beatty et al.* (1984) zeigten, dass zwischen dem Wurzelkanaldurchmesser und der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen, die mit Hilfe der lateralen Kondensation gefüllt wurden, weder bei geraden noch bei gekrümmten Kanälen ein Zusammenhang besteht [21, 61]. Dies steht im Widerspruch zu Untersuchungen von *McGinnity et al.* (1990), die bei Wurzelfüllungen mit kleinem Wurzelkanaldurchmesser (ISO-Größe 30) eine signifikant höhere durchschnittliche Farbpenetrationstiefe vorfanden als bei Zahnwurzeln mit großem Wurzelkanaldurchmesser [137]. Da in dieser Studie alle Zähne auf die gleiche ISO-Größe aufbereitet wurden, konnte ein eventueller Einfluss des Wurzelkanaldurchmessers auf die Farbpenetrationstiefe damit reduziert werden.

Die mittleren Eindringtiefen der beiden untersuchten Kanalkonfigurationen in der Kontrollgruppe zeigten im direkten Vergleich keine Unterschiede. Insgesamt lag die durchschnittliche Farbpenetrationstiefe der Kontrollgruppe signifikant höher als in der Gruppe II. Verglichen mit der Gruppe III war sie jedoch signifikant niedriger. In der Literatur konnte keine Untersuchung gefunden werden, deren Studiendesign zu einem Vergleich herangezogen werden konnte.

Die im Vergleich zur Gruppe der wurzelspitzenresezierten Zähne schlechteren Ergebnisse für die Gruppe I könnten zum Teil darauf zurückzuführen sein, dass schlitzförmige Kanalanteile im apikalen Bereich weniger aufbereitet werden konnten als weiter koronal und entsprechend

undicht waren. Bei Betrachtung der Querschnitte konnten ungefüllte schlitzförmige Ausbuchtungen vor allem im apikalen Abschnitt der Wurzelkanäle beobachtet werden (Abb. 13). Dies deckt sich mit Erkenntnissen aus der Literatur, wonach sich lateral kondensierte Wurzelfüllungen mangelhaft an den Wurzelkanalverlauf anpassen [33, 35, 37]. Die Dicke der Schicht des Sealers zeigt innerhalb der Wurzelfüllung große Variationen und Ausbuchtungen der Kanäle werden entweder unvollständig [33, 123] oder ausschließlich mit Sealer gefüllt [33, 37]. Zudem weisen Wurzelfüllungen, die mit Hilfe der lateralen Kondensation gefüllt wurden Inhomogenitäten und Porositäten auf [33, 37, 47, 123, 129].

Ein weiterer Grund für die geringere Penetrationstiefe in Gruppe II könnte darin bestehen, dass es durch die laterale Kondensation in den koronalen Anteilen der Wurzelfüllung zu einer dichteren Wurzelfüllung gekommen sein könnte als in den apikalen Bereichen. Möglicherweise könnte dies darauf zurückzuführen sein, dass überschüssiger Sealer beim Einbringen der akzessorischen Stifte nicht ausreichend nach koronal entweichen kann und somit verhindert, dass diese auf die Tiefe des vorher eingebrachten Spreaders eingeführt werden können. Demnach könnte auch der Anteil des Sealers im Verhältnis zur Guttapercha in den apikaleren Abschnitten erhöht sein.

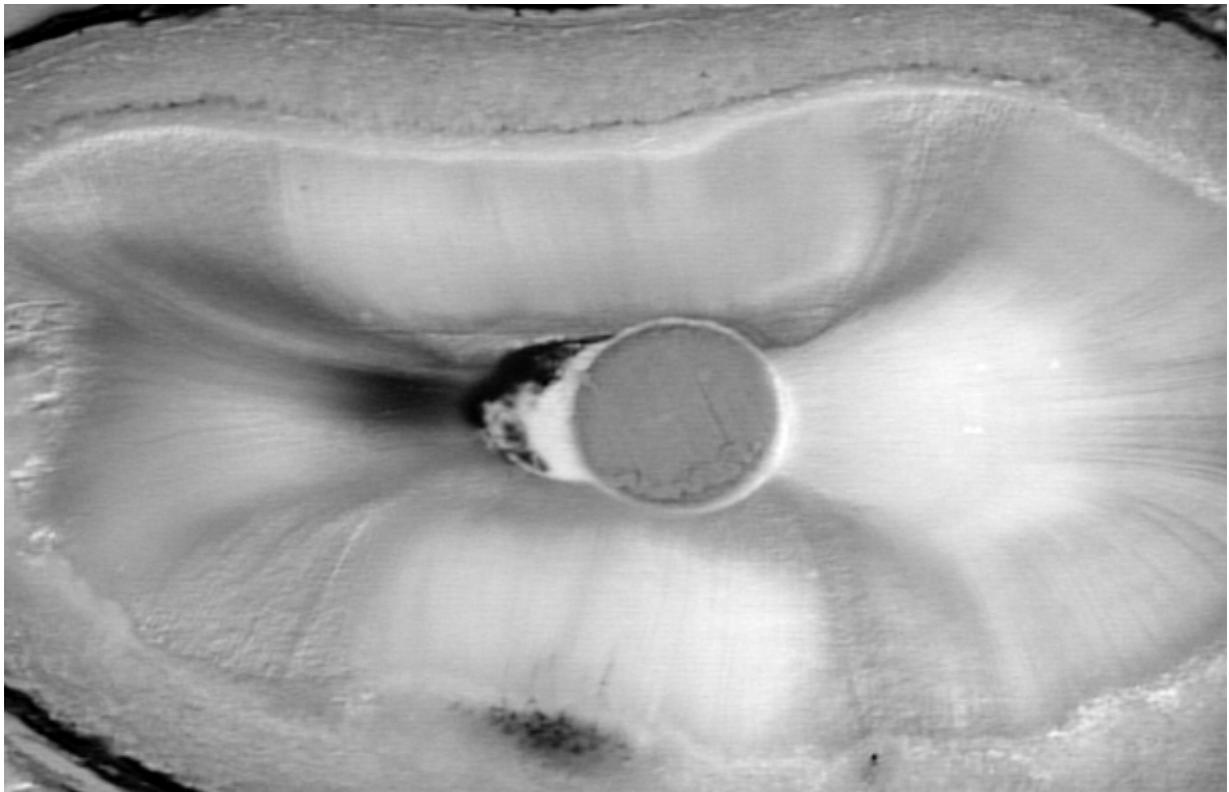


Abb. 13 Ungefüllte schlitzförmige Ausbuchtung neben einer Wurzelfüllung im apikalen Abschnitt eines Wurzelkanals (Schnitthöhe 4,2 mm vor dem Apex)

5.2.3. Wurzelspitzenresektion

In der Gruppe der Wurzelspitzenresektion kam es im Vergleich zu den anderen Gruppen zu den deutlich besten Ergebnissen hinsichtlich der Farbstoffpenetration. Der mittlere Wert lag mit 1,2 mm signifikant niedriger als die Mittelwerte der Gruppe I und III. Dies galt für beide untersuchte Kanalkonfigurationen. Die mittleren Farbpenetrationstiefen der Gruppen IIA und IIB waren unterschiedlich. Bei der Gruppe der sich treffenden Kanäle (IIA) konnte eine tiefere Farbstoffpenetration festgestellt werden als bei der Gruppe, deren Kanäle getrennt verliefen (IIB). Der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p=0,098$). Zu vermuten ist, dass die in der Literatur beschriebenen zahlreichen Anastomosen zwischen den beiden Kanälen [104, 197, 198] ein tieferes Eindringen des Farbstoffes ermöglichten. In einigen Fällen konnte dies in der vorliegenden Studie beobachtet werden (Abb. 14 und Abb. 15). Solche Querverbindungen werden zu einem großen Teil für spätere Misserfolge verantwortlich gemacht [81, 177]. Vergleicht man die mittleren Penetrationstiefen der Gruppe II mit denen der Gruppe III, so lässt sich eine hochsignifikant größere mittlere Farbstoffpenetration in der Gruppe III feststellen.

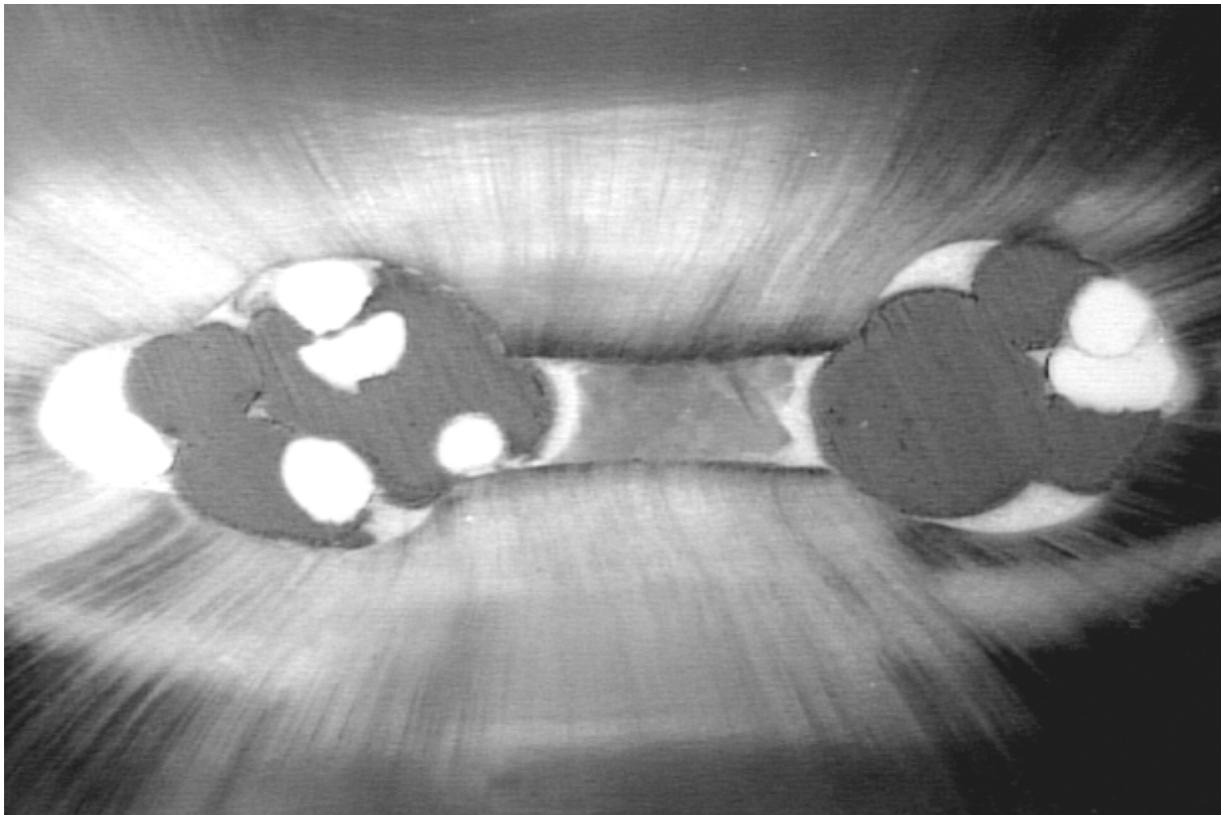


Abb. 14 Beispiel für eine ungefüllte interkanalikuläre Anastomose (Schnitthöhe 7,7 mm vor dem Apex)

Grundsätzlich muss die Frage gestellt werden, warum die wurzelspitzenresezierten Zähne der Gruppe II dennoch eine mittlere Penetrationstiefe von 1,2 mm aufweisen. Dies würde bedeuten, dass, wenn man die apikal entfernten 3 mm der Wurzelspitze berücksichtigt, eine tiefere Farbstoffpenetration eingetreten sein müsste als in der Kontrollgruppe.

Anzunehmen ist, dass durch die Wurzelspitzenresektion Hohlräume, die nach apikal durch die Wurzelfüllung abgedichtet wurden, freigelegt wurden, so dass der Farbstoff penetrieren konnte. Die mechanische Entfernung der Wurzelspitze könnte zu Quetschungen der Guttapercha bzw. zum Ausreißen des Sealers oder von Teilen der Wurzelstifte geführt haben. Eine solche Betrachtung ist jedoch rein theoretischer Natur. Sie berücksichtigt nicht, wo die Verfärbung in den Fällen, in denen in der Gruppe II die Wurzelfüllung nicht angefärbt wurde aufhört. Ebenfalls unberücksichtigt bleibt die oben beschriebene mechanische Beeinflussung der Versuchsergebnisse.

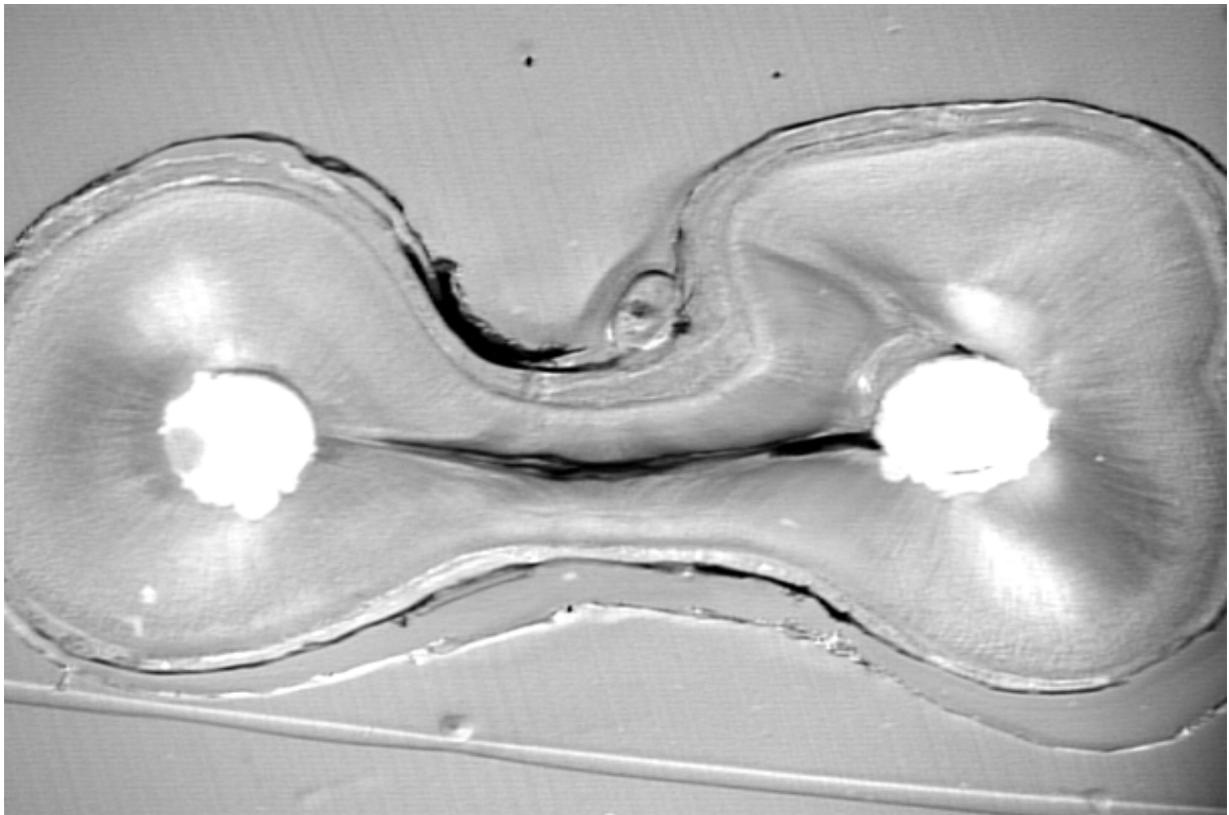


Abb. 15 Beispiel für eine angefärbte interkanalikuläre Anastomose (Schnitthöhe 3,5 mm vor dem Apex)

5.2.4. Retrograde Wurzelfüllung

Die Farbstoffpenetrationstiefen erreichten mit durchschnittlich 4313 μm in der Gruppe III die höchsten Werte. Sie waren damit signifikant höher als in Gruppe I und in Gruppe II.

Zu Farbstoffpenetrationstiefen retrograder Wurzelfüllungen aus Glasionomerzement gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Die Studien differieren in ihrem Aufbau zum Teil erheblich, so dass ein direkter Vergleich mit den dort angegebenen Werten nicht möglich ist. Eine Untersuchung, deren Methode mit der vorliegenden vergleichbar ist, wurde kürzlich von *Sutimuntanakul et al.* (2000) publiziert. Die gemessene Farbstoffpenetration lag mit durchschnittlich 520 μm erheblich niedriger als in der vorliegenden Untersuchung. Die Autoren hatten vor dem Legen der retrograden Füllung jedoch eine Konditionierung des Dentins vorgenommen. Diese Maßnahme könnte die Unterschiede teilweise erklären [187]. *Olson et al.* (1990) verglichen Ketac-Fil® auf seine Eignung als retrogrades Füllungsmaterial mit Amalgam und Guttapercha. Die Undichtigkeiten der Füllungen aus Glasionomerzement lagen allesamt im akzeptablen Bereich. Als akzeptabel galten Verfärbungen innerhalb der retrograden Füllung, die in eine 2 mm tiefe Kavität gelegt wurde [152]. *Rosales et al.* (1996) untersuchten die Dichtigkeit verschiedener Glasionomerzemente. Dabei wies Ketac-Silver® mit 2402 μm im Mittel eine höhere Farbstoffpenetration als Ketac-Bond® mit nur 1277 μm auf [164]. In einer Studie von *Chong et al.* (1991) zeigten alle Füllungen aus Glasionomerzement (Chemfil II) Undichtigkeiten. In 9 von 20 Fällen beobachteten sie einen mangelhaften Randschluss. Ebenfalls in 9 von 20 Fällen konnten Lufteinschlüsse zwischen Füllung und Zahn nachgewiesen werden. Nur in einem Fall kam es zur Penetration des Farbstoffes bis in die Wurzelfüllung. Die Tiefe der retrograden Kavität in dieser Studie betrug 1,5 mm [43]. Solche Lufteinschlüsse werden von *Khoury et al.* (1987) auf die zähfließende Konsistenz des Glasionomerzements zurückgeführt und als ein Nachteil dieses Materials angesehen. In vielen Fällen der vorliegenden Untersuchung konnten sie ebenfalls nachgewiesen werden.

Trotz der erschwerten Vergleichbarkeit, die auf das unterschiedliche Studiendesign zurückzuführen ist, kann festgestellt werden, dass die in der vorliegenden Untersuchung gemessene durchschnittliche Farbstoffpenetration für die retrograd gefüllten Zähne erheblich höher lag als in der Literatur beschrieben.

Die dort beobachteten Differenzen hinsichtlich der Farbpenetration sind mit Sicherheit zu einem Teil auf die unterschiedliche Art der Applikation des Glasionomerzements zurückzuführen. So konnte nachgewiesen werden, dass sich die Konditionierung des Dentins

und das Aufbringen eines Schutzlackes positiv auf die Dichtigkeit der Füllung auswirkten [43]. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Glasionomerkleber (Ketac-Fil®) den Herstellerangaben entsprechend verarbeitet. Dabei wurde jedoch keine vorherige Konditionierung vorgenommen, allerdings wurde während des Abbindevorgangs ein Lack aufgetragen. Die vorgefundenen Diskrepanzen zu den in der Literatur angegebenen Werten können damit jedoch nicht erklärt werden. Da die Zähne nach dem Legen der Füllung sofort wieder in Flüssigkeit verblieben, kann es auch nicht zu einem Abriss der Füllung, verursacht durch Austrocknung, gekommen sein. Auch zeigten die Füllungen, ebenso wie die Zähne, bei Betrachtung unter dem Mikroskop nur in wenigen Fällen interne Risse. An fast allen Zähnen konnte eine durchgehende zirkuläre Farbpenetration beobachtet werden (Abb. 16). Anzunehmen ist, dass sich unter klinischen Bedingungen gelegte retrograde Füllungen aus Glasionomerkleber eher noch größere Undichtigkeiten aufweisen, da die dort vorhandene Feuchtigkeit und eventuelle Einblutungen die Abbindung beschleunigen können und die Adhäsion am Dentin zusätzlich vermindern [152].



Abb. 16 Der Querschnitt durch eine retrograde Wurzelfüllung aus Ketac-Fil® zeigt eine durchgehende zirkuläre Farbpenetration (Schnitthöhe 0,7 mm vor dem Apex)

Es stellt sich die Frage, inwieweit mit einer zusätzlichen retrograden Wurzelfüllung eine Verbesserung der Dichtigkeit zu erreichen ist. Eines der Ziele der retrograden Wurzelfüllung ist das Verhindern eines Übergreifens der bakteriellen Infektion ausgehend vom Wurzelkanal auf das apikale Gewebe. Jüngerer Untersuchungen von *Barthel et al.* (1999) zufolge sind Bakterien in der Lage, fast alle bekannten Füllungsmaterialien in relativ kurzer Zeit zu penetrieren. In der von ihnen durchgeführten Studie kam es bei der Verwendung von Ketac-Fil® als temporäres Verschlussmaterial zu den besten Ergebnissen. Trotzdem konnten die Bakterien nach einer Zeit von nur 30 Tagen 10% der gelegten Füllungen durchwandern [13]. Dies würde, auf retrograde Füllungen übertragen, bedeuten, dass sie nur einen kurzfristigen Schutz gegen eine Ausbreitung von Bakterien bieten können. Unter diesen Umständen und auch bei Betrachtung der in dieser Untersuchung vorgefundenen Ergebnisse müsste das Legen retrograder Füllungen im Hinblick auf eine Kontrolle der bakteriellen Infektion nochmals überdacht werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass ein Teil der Misserfolge retrograder Füllungen auf materialbedingte Undichtigkeiten zurückzuführen sind [56, 64, 100]. Diese dürften bei *intra operationem* gelegten Füllungen eher noch größer sein.

5.2.5. Seitenkanäle

Seitenkanäle (Abb. 17) waren in den Gruppen mit getrennt verlaufenden Kanälen häufiger anzutreffen als in den Gruppen mit sich treffenden Kanälen. Die Penetrationstiefe war bei Zähnen mit Seitenkanälen im Mittel größer als bei Zähnen ohne Seitenkanäle. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Farbstoff über die Seitenkanäle eindringen kann. Die eingesetzte Methode zur Ermittlung der Farbpenetration durch die Anfertigung serieller Querschnitte ist jedoch auf Grund des hohen Sägeblattverlustes nur bedingt zur Auffindung vorhandener Seitenkanäle geeignet. Der Sägeblattverlust betrug in der vorliegenden Untersuchung 47%. Daher ist anzunehmen, dass ein großer Teil der Seitenkanäle bei der Betrachtung der Sägeschnitte unentdeckt blieb.

5.3. Übertragbarkeit der In-vitro-Resultate

Die in dieser Studie ermittelten Resultate lassen sich nur schwer auf die klinische Situation übertragen. Die Korrelation zwischen der Quantifizierung der Farbstoffpenetration und der klinischen Dichtigkeit von Wurzelfüllungen ist umstritten. Ein Grund dafür ist in erster Linie der Unterschied zwischen den Molekülgrößen von Bakterien, ihren Endotoxinen und den

eingesetzten Farbstoffen. *Barthel et al.* (1999) konnten eindrucksvoll nachweisen, dass Farbstoffpenetration und Bakterienpenetration nur in wenigen Fällen in Zusammenhang zu bringen waren [12]. *Kersten und Moorer* (1989) zeigten, dass an Wurzelfüllungen, die von Bakterien und Endotoxinen nicht penetriert werden konnten, dennoch Farbstoffmoleküle eindringen konnten [107]. Da Nährstoffe von Bakterien zum Teil ähnliche Molekülgrößen wie die eingesetzten Farbstoffe aufweisen, sollte eine retrograde Füllung auch ihnen gegenüber dicht sein.

Bei den in dieser Studie untersuchten Zähnen ergaben sich für die einfache Wurzelspitzenresektion die mit Abstand besten Resultate hinsichtlich der Dichtigkeit gegenüber Methylenblau.

In der Literatur wird empfohlen, vor Durchführung einer chirurgisch-endodontischen Maßnahme stets eine Revision zu versuchen [175]. Aufgrund der oben geschilderten Betrachtungen zur Übertragbarkeit der *in vitro* vorgefundenen Ergebnisse auf die klinische Situation kann einer Wurzelspitzenresektion nicht der Vorzug vor der Revision der Wurzelfüllung gegeben werden. Berücksichtigt werden muss zudem, dass bereits drei Millimeter der Wurzelspitze entfernt wurden und die Penetrationstiefe mit 1,4 mm trotzdem

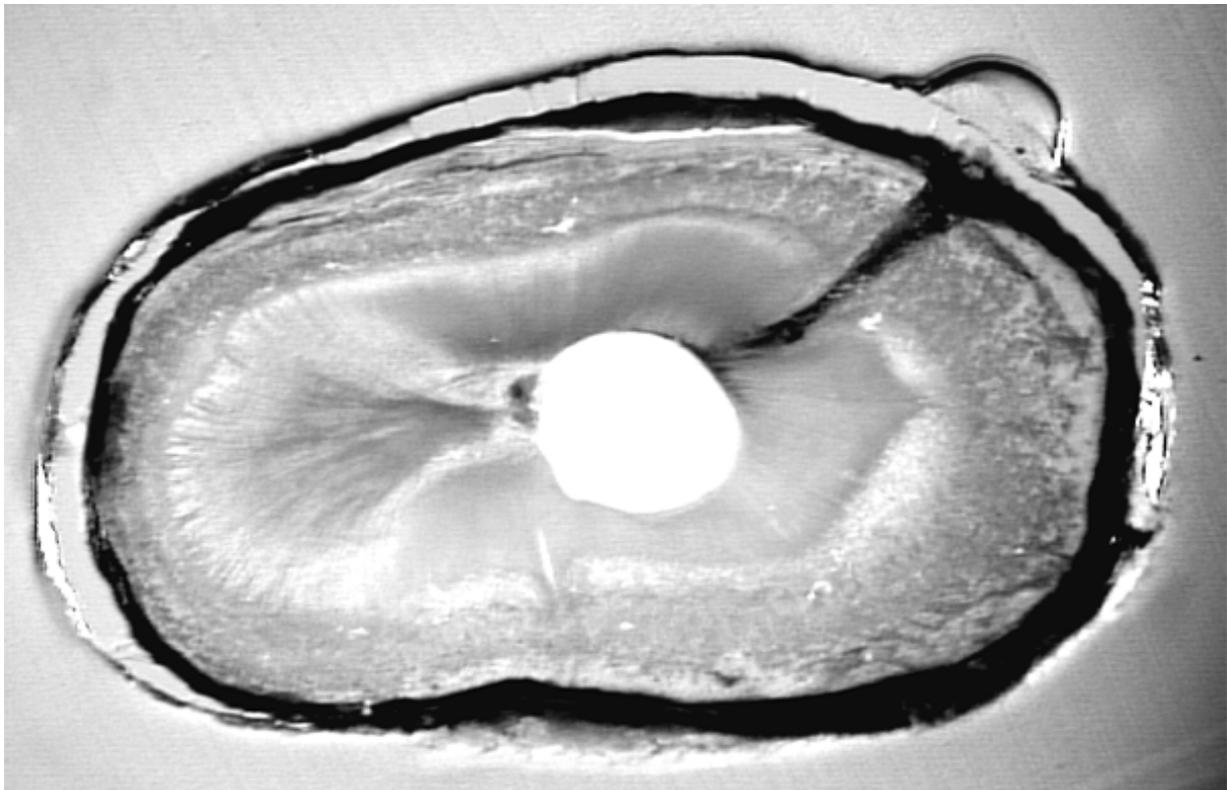


Abb. 17 Seitenkanal im apikalen Abschnitt einer gefüllten Zahnwurzel (Schnitthöhe 1,4 mm vor dem Apex)

noch verhältnismäßig tief war.

Bei der Betrachtung der Penetrationstiefen konnten keine signifikante Unterschiede zwischen den beiden Kanalkonfigurationen gefunden werden. Daher kann auch keine unterschiedliche Behandlung empfohlen werden.

Die Auswertung der zur Verfügung stehenden Literatur lässt den Schluss zu, dass kein Füllungsmaterial einen dichten retrograden Verschluss gewährleisten kann. Unter Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse, wonach die meisten Füllungsmaterialien von Bakterien penetriert werden können [13], sollte die Indikation für eine zusätzliche retrograde Füllung unter Umständen eingeengt und ihr routinemäßiger Einsatz hinterfragt werden.